

# ESTUDO DE MÉTODO DE TRANSFERÊNCIA DE EFICIÊNCIA USANDO DETECTORES NaI(Tl)

Thiago L. Ramos<sup>1</sup> e César M. Salgado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Engenharia Nuclear, CENSIEN  
Via Cinco, s/nº - Cidade Universitária - Rio de Janeiro, Brasil 21945-970 Caixa Postal 68550  
thiago\_lins-ramos@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto de Engenharia Nuclear, DIRA/IEN/CNEN  
Via Cinco, s/nº - Cidade Universitária - Rio de Janeiro, Brasil  
21945-970 Caixa Postal 68550  
otero@ien.gov.br

## RESUMO

A utilização de detectores cintiladores NaI(Tl) para medições implica na determinação da eficiência de detecção em função da energia dos fótons incidentes. A curva de eficiência pode ser obtida experimentalmente com a utilização de várias fontes monoenergéticas calibradas com energias de emissão que abranjam todo o intervalo de interesse ou utilizando o método de Monte Carlo. O Instituto de Engenharia Nuclear desenvolve diversas metodologias usando estes detectores, pois são robustos, baratos e não precisam de resfriamento para sua utilização. A montagem de um arranjo experimental costuma ser complexa, pois vários fatores influenciam no resultado afetando a reprodutibilidade nas medições, tais como: paralelismo entre a fonte e o detector, alinhamento entre fonte e detector e precisão na distância fonte-detector. Diante de tais dificuldades, desenvolveu-se um sistema automatizado de posicionamento para o conjunto fonte-detector controlado por um micro controlador baseado na linguagem ARDUINO visando garantir a reprodutibilidade nos arranjos experimentais. Na fase inicial deste estudo desenvolveu-se um modelo matemático no código MCNP-X utilizando um detector NaI(Tl). Uma validação teórica usando o Método de Transferência de Eficiência foi realizada em três diferentes posições no eixo axial do detector (10,6 cm; 11,3 cm e 12,0 cm). Este método baseia-se na razão dos ângulos sólidos efetivos. A validação experimental apresentou erros relativos máximos de 7,74% para a posição 11,3 cm.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de espectrometria baseados em detectores de radiação NaI(Tl) apresentam robustez, baixo custo de aquisição, podem ser utilizado em temperatura ambiente e por isso são utilizados em diversas aplicações em campo onde as situações de intempéries são desfavoráveis [1-3]. Os sistemas de detecção baseados nestes cintiladores possuem ainda grande eficiência de absorção na detecção de raios gama de alta energia permitindo o uso de fontes de radiação com baixa atividade o que permite reduzir os requisitos de blindagem e de proteção radiológica.

O grupo de técnicas nucleares aplicadas do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) desenvolve diversas metodologias usando estes detectores. A utilização de detector NaI(Tl) para medições implica na determinação da curva de eficiência de resposta do detector em função

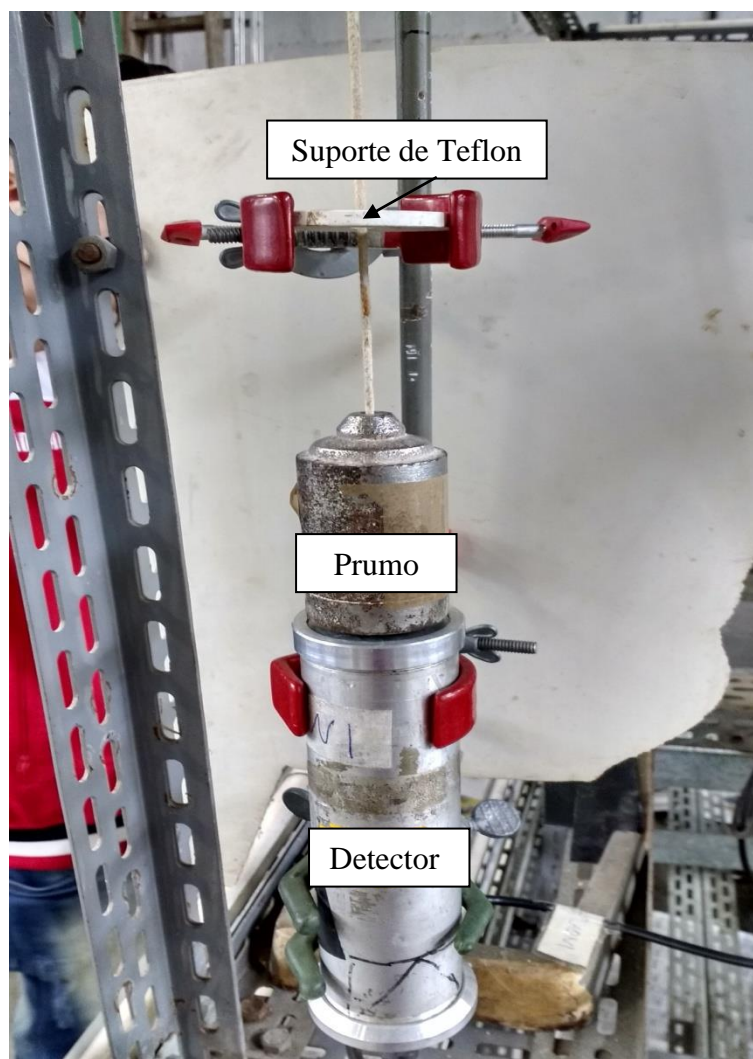
da energia do fóton incidente. Esta curva foi obtida usando medidas experimentais com a utilização de fontes monoenergéticas calibradas com energia de emissão do intervalo de interesse.

A montagem de um arranjo experimental costuma ser complexa, pois vários fatores influenciam no resultado que podem afetar a confiabilidade e a reprodutibilidade nas medições, tais como: paralelismo entre a fonte e o detector, alinhamento entre fonte e detector e precisão na distância fonte-detector. Diante de tais dificuldades, desenvolveu-se um sistema automatizado de posicionamento para o conjunto fonte-detector controlado por um micro controlador baseado na linguagem ARDUINO visando garantir a reprodutibilidade nos arranjos experimentais. O Método de Transferência de Eficiência (MTE) [4] que é baseado na razão dos ângulos sólidos efetivos será utilizado. Este método economiza tempo, recursos e permite calcular a eficiência em distintas posições sem a necessidade de repetir uma nova medição com um novo reposicionamento da fonte. Na fase inicial deste estudo desenvolveu-se um modelo matemático no código MCNP-X [5] utilizando um detector NaI(Tl) visando fornecer dados para utilização do MTE. Desta forma, este trabalho estuda três maneiras diferentes de se obter a eficiência de detecção de detectores de radiação, em especial ao método MTE.

## **2. MATERIAIS E METODOS**

### **2.1 Cálculo da Eficiência Experimental**

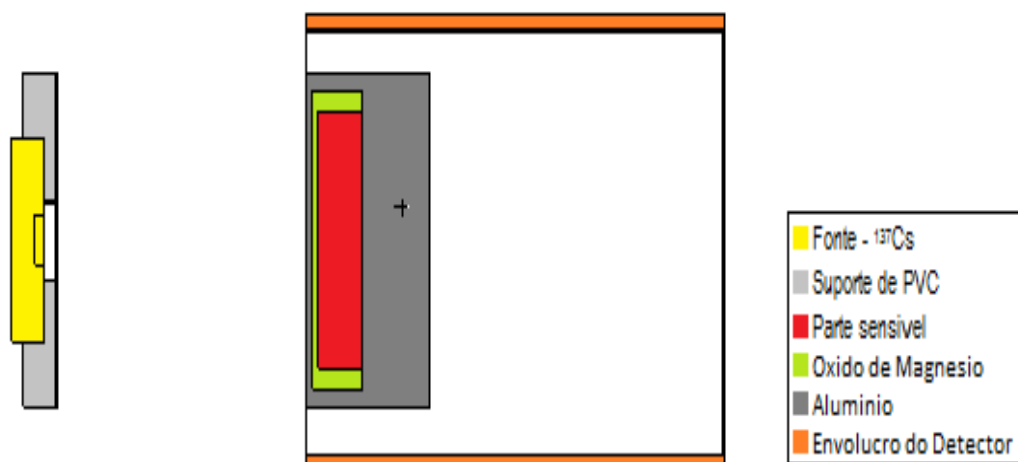
Para a realização dos experimentos utilizou-se um detector NaI(Tl) com dimensões de 3,175 cm de diâmetro e 1,905 cm de espessura e uma fonte de radiação  $^{137}\text{Césio}$  (662 keV). A fonte foi apoiada em um suporte de teflon com um rebaixo de diâmetro aproximado ao de suas dimensões e um furo passante concêntrico com a finalidade de permitir uma emissão fonte-detector sem interferência. Para garantir o alinhamento vertical entre o sistema fonte-detector, utilizou-se um prumo e para o horizontal, utilizou-se um nível de bolha. Após nivelamento e o alinhamento, o sistema ficou apto para obter as medições, e assim determinar os valores de eficiências. O cálculo da eficiência foi realizado em 3 diferentes posições fonte-detector (10,6 cm; 11,3 cm e 12,0 cm). O tempo de medição de cada fonte para as determinadas posições foram de 30 min considerando incerteza de 1% nas contagens na região fotoelétrica. O programa utilizado para a obtenção dos espectros foi o GENIE 2000, uma ferramenta de aquisição e análise de espectros. A geometria de medida é mostrada na Fig. 1. Vale destacar, que as medidas das posições da fonte utilizadas neste trabalho são limitantes da geometria experimental.



**Figura 1: Foto do sistema sendo alinhado com auxílio de um prumo.**

## **2.2. Modelo desenvolvido pelo código MCNP-X**

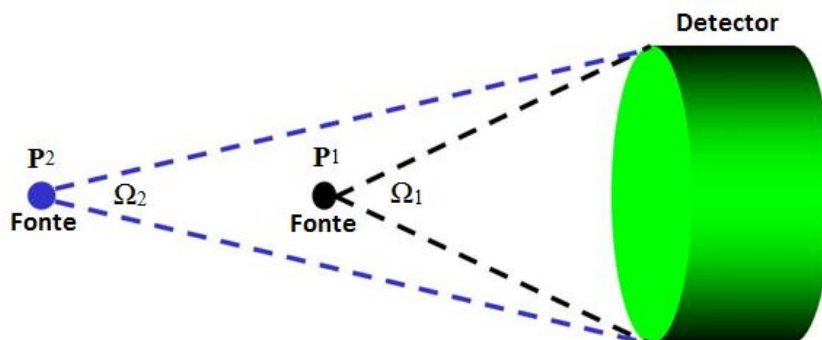
Para os dados simulados utilizou-se o modelo matemático proposto por Lins [6] no código MCNP-X como mostrado na Fig. 2. O modelo desenvolvido baseia-se nos arranjos experimentais, sendo desconsiderados os objetos ao redor do laboratório, como suporte da fonte.



**Figura 2: Modelo Matemático (Figura retirada no Programa VISED).**

### 2.3. Método de Transferência de Eficiência

Este método é considerado um modelo moderno para calcular a eficiência máxima do fotopico na energia considerada que correlaciona o ângulo sólido efetivo entre a fonte e o detector. Dispondo do valor da eficiência de uma fonte em uma ponto  $P_1$  é possível obter a resposta da eficiência em um ponto distinto  $P_2$ , ver Fig. 3.



**Figura 3: Distancias e ângulos sólidos entre a fonte e o detector.**

O MTE baseia-se na razão entre os ângulos sólidos efetivos utilizando a Eq. 1. Vale destacar, que não foi considerado o material (ar) entre a fonte-detector no cálculo do angulo sólido efetivo.

$$E_1 = \frac{E_2 \cdot \Omega_2}{\Omega_1} \quad (1)$$

Onde:

$E_1$ = Eficiência referente à posição da fonte em  $P_1$ ,

$E_2$ = Eficiência referente à posição da fonte no  $P_2$ ,

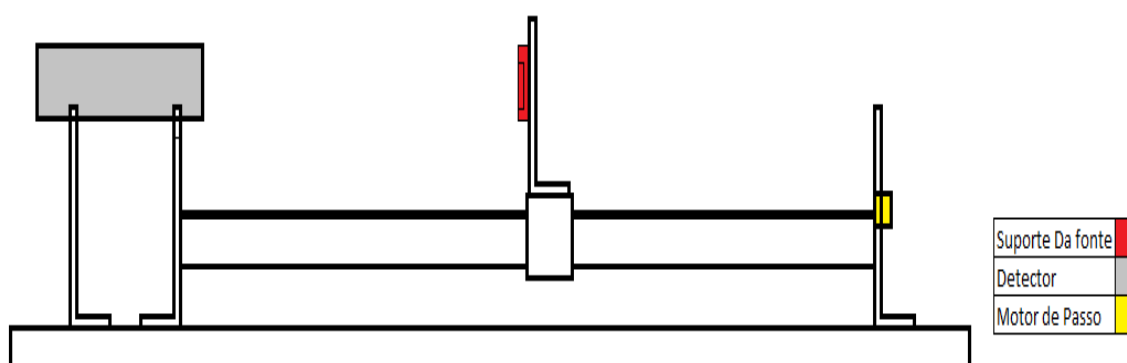
$\Omega_1$ = Ângulo sólido referente à posição fonte-detector na posição  $P_1$ ,

$\Omega_2$ = Ângulo sólido referente à posição fonte-detector na posição  $P_2$ .

## 2.4. Projeto automatizado

O sistema consiste em um conjunto de peças mecânicas e eletrônicas, um micro controlador denominado ARDUINO com uma linguagem de programação padrão, a qual tem a origem *Wiring*<sup>1</sup>, foi utilizado para programar um motor de passo que e um componente eletromecânico que permite um controle preciso de sua posição angular através de pulsos, esses motores são fabricados com diferentes números de passos por revolução. O ARDUINO é composto por um controlador, algumas linhas de entrada e saída (E/S) digital e analógica, além de uma interface serial ou Universal Serial Bus (USB).

O sistema automatizado foi desenvolvido e elaborado por meio do AUTO CAD, uma ferramenta utilizada para criar peças de desenhos técnicos em 2D e 3D. Na Fig. 4 é mostrado um esboço representativo do sistema.



**Figura 4: Visão lateral do projeto automatizado.**

A programação elaborada executar as seguintes etapas: ao se pressionar um vez o botão da esquerda (B1) faz com que o suporte da fonte se desloque para a esquerda e o botão da direita (B2) faz com que a fonte se desloque para a direita. Cada toque nestes botões faz o motor girar um determinado número de voltas, parando a seguir. Os componentes foram interligados por meio de uma *protoboard*. Uma representação do esquema eletrônico do conjunto é mostrado na Fig. 5.

---

<sup>1</sup> *Wiring* é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre composta por uma linguagem de programação, um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) e um micro controlador de placa única.



Na Tab. 2 são mostradas as eficiências obtidas pelo MTE utilizando como base os dados experimentais.

**Tabela 2: Comparação entre os resultados experimentais e o MTE.**

Distância Fonte Detector (cm)	Eficiência Experimental	Eficiência MTE	ERRO %
10,6	0,0470	0,0434	-7,74
11,3	0,0439	0,0471	7,18
12	0,0396	0,0428	7,01

O erro do MTE se a distância da fonte tivesse uma imprecisão de 1 mm apresentou um erro de 9%. Como o sistema automatizado de posicionamento não pode ser utilizado, é possível que a precisão nas distâncias tenha sido comprometida o que pode justificar os erros relativos na ordem de 7%.

Na Tab. 3 é mostrado uma comparação dos dados obtidos com o código MCNP-X e o MTE.

**Tabela 3: Comparações entre o MCNP-X e os resultados do MTE. Primeiros resultados.**

DFD (cm)	Eficiência		
	MCNP-X	MTE*	ERRO %
10,6	0,0384	0,0379	1,30
11,3	0,0333	0,0338	-1,32
12	0,0301	0,0303	-0,59

É possível observar que os valores obtidos pelo MTE são bem próximos comparados com os simulados, isso demonstra que o modelo desenvolvido no MCNP-X foi bem representado e que o método MTE é válido para esta geometria.

### 3. CONCLUSÃO

O modelo matemático desenvolvido no código MCNP-X apresenta boa concordância quando comparado com o MTE com erros relativos menores que 1,4% enquanto para os dados experimentais os erros chegam a quase 8%. É possível que com a utilização de pequenas diferenças entre o conjunto fonte-detector (devido a limitações do sistema de medições) a precisão tenha sido comprometida.

Vale destacar que foi detectado um travamento no sistema de tração do conjunto da fonte-detector quando se utilizou o dispositivo automatizado comprometendo a repetitividade do sistema e novas medidas foram realizadas de forma manual.

A validação experimental do modelo matemático apresentou resultados com erros na ordem de 25%, o que pode ser explicado por alguns efeitos físicos não simulados no código, pela imprecisão nas distancias fonte-detector, ou ainda um defeito no detector. De qualquer forma, os resultados indicam a possibilidade de cálculo de eficiência usando o MTE. Novos experimentos usando distâncias maiores deverão ser realizadas, assim como a substituição do motor de passo para que o sistema de posicionamento automatizado possa ser utilizado visando diminuir estas fontes de incertezas.

### **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho teve apoio financeiro da CNPq/PROBIC. Agradecemos também o Instituto de Engenharia Nuclear pelo apoio técnico.

### **REFERÊNCIAS**

1. Salgado, C.M., Brandão, L.E.B., Schirru, R., Pereira, C.M.N.A., Conti, C.C.: Prog. Nucl. Energy 59, 19–25 (2012)
2. El-Khatib, A.M., Badawi, M. S., Elzaher, M.A., Thabet, A.A.: Proceeding of “XI Radiation Physics and Protection Conference”, (25–28 November 2012) Nasr City Cairo-Egypt
3. Elzaher, M.A., Badawi, M.S., El-Khatib, A.M., Thabet, A.A.: World J. Nucl. Sci. Technol. 2, 65–72 (2012)
4. Ahmed M. El-Khatib, Mohamed S. Badawi, Mohamed A. Elzaher, Abouzeid A. Thabet A study of the validity of the efficiency transfer method to calculate the peak efficiency using c-ray detectors at extremely large distances
5. Pelowitz, D.B., 2005. MCNP-X TM User’s Manual, Version 2.5.0. LA-CP-05e0369. Los Alamos National Laboratory.
6. Letícia L. Ramos e César M. Salgado "Estudo do Volume Sensível Efetivo de Detectores de NaI(Tl) Utilizando o Código MCNP-X" International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2015 São Paulo, SP, Brazil, October 4-9, 2015.